

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004 年12 月16 日 (16.12.2004)

PCT

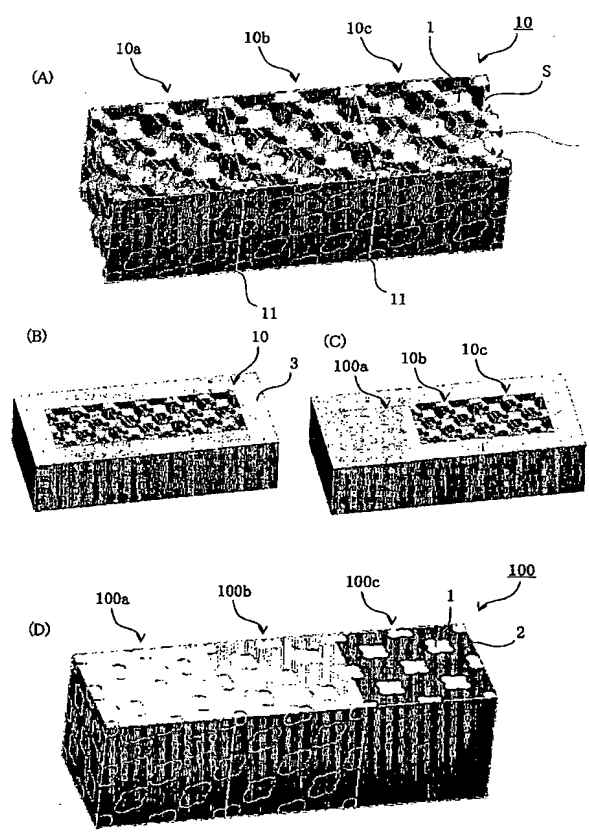
(10) 国際公開番号
WO 2004/109344 A1

- | | |
|--|---|
| <p>(51) 国際特許分類⁷: G02B 1/02, 6/12</p> <p>(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/005592</p> <p>(22) 国際出願日: 2004 年4 月20 日 (20.04.2004)</p> <p>(25) 国際出願の言語: 日本語</p> <p>(26) 国際公開の言語: 日本語</p> <p>(30) 優先権データ:
特願2003-161219 2003 年6 月5 日 (05.06.2003) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社 村田製作所 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 Kyoto (JP).</p> | <p>(72) 発明者; および</p> <p>(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 桐原 聡秀 (KIR-IHARA, Soshu) [JP/JP]; 〒5620024 大阪府箕面市粟生新家 2-1-27-205 Osaka (JP). 宮本 敏生 (MIYAMOTO, Yoshinari) [JP/JP]; 〒5630057 大阪府池田市槻木町 1-14-202 Osaka (JP). 中川 卓二 (NAKAGAWA, Takuji) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社 村田製作所内 Kyoto (JP). 田中 克彦 (TANAKA, Katsuhiko) [JP/JP]; 〒6178555 京都府長岡京市天神 2 丁目 2 6 番 1 0 号 株式会社 村田製作所内 Kyoto (JP).</p> <p>(74) 代理人: 小森 久夫 (KOMORI, Hisao); 〒5400011 大阪府大阪市中央区農人橋 1 丁目 4 番 3 4 号 Osaka (JP).</p> <p>(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,</p> |
|--|---|

[続葉有]

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL PERIODIC STRUCTURE AND PROCESS FOR PRODUCING THE SAME

(54) 発明の名称: 3次元周期構造体およびその製造方法



(57) Abstract: Photonic crystal units (10a, 10b, 10c) are formed by optical molding method using photo-curing resin and a partition (11) is provided at the boundary part. The air gap part of each photonic crystal unit is impregnated with a second substance dispersed with ceramic particles to constitute a filling part (2). Such three-dimensional periodic structures where first and second substances are distributed with a three-dimensional periodicity are arranged sequentially while differentiating the permittivity ratio between the first and second substances. A three-dimensional periodic structure having a photonic band gap of wide range, which is unattainable in the conventional three-dimensional periodic structure, can thereby be obtained.

(57) 要約: 光硬化性樹脂を用いた光造形法によりフォトニック結晶型ユニット (10a, 10b, 10c) を作成するとともに、その境界部分に仕切り (11) を設ける。また、各フォトニック結晶型ユニットの空隙部に、セラミックス粒子を分散させた第2の物質を含浸させて充填部2を構成する。このような、第1・第2の物質が3次元の周期性をもって分布する3次元周期構造体を、第1・第2の物質の誘電率比に違いをもたせて順に配置する。これにより、従来の3次元周期構造体では得られなかった広範囲なフォトニックバンドギャップを有する3次元周期構造体を得る。

WO 2004/109344 A1



ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY,

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

3次元周期構造体およびその製造方法

5 技術分野

この発明は、3次元周期構造体およびその製造方法に関するものである。

背景技術

- 10 固体結晶中において、原子核により構成される周期的なポテンシャル分布は、格子定数に見合う波長の電子波に対して干渉作用を示す。すなわち、電子波の波長が結晶のポテンシャル周期に非常に近い場合には、3次元
- 15 バイスなどに利用される電子バンドギャップの形成である。

同様に、屈折率もしくは誘電率が周期的に変化する3次元構造は、電磁波に対する干渉作用を示し、特定周波数領域の電磁波を遮断する。この場合、禁止帯はフォトニックバンドギャップと呼ばれ、上記3次元構造体はフォトニック結晶と呼ばれる。

- 20 上記作用を利用して、フォトニック結晶を、例えば所定周波数帯域の電磁波の透過を遮断するカットオフフィルタとして用いたり、上記周期的な構造中に周期を乱す不均一部分を導入して、その部分に光や電磁波が閉じ込める導波路や共振器として用いたりすることが考えられている。また、光の超低閾値レーザーや電磁波の高指向性アンテナ等への応用も考えられて
- 25 いる。

一般にフォトニック結晶中において、電磁波のブラッグ回折が起こるときには、二種類の定在波が形成される。図6はその二種類の定在波を示し

ている。(A)に示す定在波は、波の振動が低誘電率領域で高いエネルギーを有し、(B)に示す定在波は、波の振動が高誘電率領域で高いエネルギーを有する。この二つの異なるモードにスプリットした定在波間のエネルギーを有する波は結晶中に存在できないので、バンドギャップが生じる。

- 5 このフォトニック結晶には1次元、2次元、3次元の構造体があるが、完全なフォトニックバンドギャップを得るためには3次元構造が必要である。

3次元構造を作るためには、例えば角材積層型(特許文献1、特許文献2)や自己クローニングによる形状保存多層膜を用いた方法(特許文献3)
10)、光造形を用いる方法(特許文献4、特許文献5)、粒子を並べる方法(特許文献6)等がある。これらの公報には、有機材料、セラミック、Si等の絶縁体、誘電体、半導体材料を加工しフォトニック結晶を作る技術が開示されている。また、樹脂組成物および誘電体粒子の混合物を硬化させることにより構成した3次元周期構造体(特許文献7)が開示されてい
15 る。

【特許文献1】 特表2001-518707公報

【特許文献2】 特開2001-74955公報

【特許文献3】 特開2001-74954公報

【特許文献4】 特開2000-341031公報

20 【特許文献5】 特表2001-502256公報

【特許文献6】 特開2001-42144公報

【特許文献7】 特開2001-261977公報

これらのフォトニック結晶から得られるフォトニックバンドギャップは
25 、構成される2つの物質の誘電率や屈折率のコントラストが大きい程大きく広がることが知られている。

しかしながら、これらの実用的な物質は、例えば10～30GHz帯域

での比誘電率は1.5、屈折率は3.0程度が限界であり、空気との誘電率や屈折率の差（または比）をそれ以上高めることは困難であった。そのため、一定誘電率の誘電体で構成した3次元周期構造体では広範囲なフォトリックバンドギャップが得られなかった。

- 5 この問題の解決方法として、種々のバンドギャップを有する周期構造体を重ね合わせてバンドギャップを広げることが考えられる。すなわち、特許文献4に開示されているように、セラミック誘電体材料を分散させた光硬化性樹脂を用いて光造形した構造体や、セラミック誘電体材料を分散させた固体を並べた構造物により格子定数を連続的に変化させたり、誘電率
10 の異なる結晶体を造る方法が有効である。しかしながら、分散させるセラミック材料により、光硬化性樹脂の硬化が阻害されたり、透過率が阻害されて光造形が困難となる。そのため、利用可能な材料が限定され、セラミック誘電体材料の分散量も限られてしまう。

- 15 この問題を解消するために、樹脂組成物および誘電体粒子の混合物を硬化させる特許文献7に開示されている方法も有効であるが、誘電体材料を複合化するため、誘電率が低下しやすい。また、セラミック誘電体材料を分散させた熱硬化性樹脂や熱可塑性樹脂塊を並べて構造体を造る方法では、ダイヤモンド構造などの複雑な構造体を得ることは困難である。

- 20 一方、特許文献5には、光造形で作成した樹脂構造体に高誘電率セラミックスを分散させた樹脂を含浸させてフォトリック結晶を作成する方法が示されている。しかし、この特許文献5の開示内容だけでは広範囲なフォトリックバンドギャップを得ることはできない。

- 25 そこで、この発明の目的は、従来構造では得られなかった広範囲なフォトリックバンドギャップを有する3次元周期構造体およびその製造方法を提供することにある。

発明の開示

この発明は、互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、3次元周期構造体における第1の物質の誘電率と第2の物質の誘電率との誘電率比を該複数の3次元周期構造体で異ならせたことを特徴としている。

- 5 このように、第1・第2の物質の誘電率比が異なった複数の3次元周期構造体領域を配置したことにより、各3次元周期構造体領域によるフォトリックバンドギャップの特性を重ね合わせて、広い周波数帯域に亘るフォトリックバンドギャップを得る。

- また、この発明は、互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、
10 各3次元周期構造体の平均誘電率に違いをもたせたことを特徴としている。

- この構造により、上記平均誘電率に応じて周波数帯の異なった位置に現れるフォトリックバンドギャップの重ね合わせにより、広い周波数帯域に
15 亘るフォトリックバンドギャップを得る。

- また、この発明は、前記第1の物質を光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂とし、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質を樹脂中にセラミックス粒子が分散した物質とし、該第2の物質が前記空間部に充填されていることを特徴としている
20 。

この構造により、第1の物質による3次元周期構造を高精度且つ容易に形成し、しかも高誘電率の第2の物質が3次元周期構造をなすように、容易に構成可能とする。

- また、この発明は、前記第1の物質をセラミックス粒子が分散した光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂とし、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質を前記空間部に充填した樹脂としたことを特徴としている。
25

この構造によっても、誘電率の異なった第1・第2の物質による3次元周期構造を高精度且つ容易に構成可能とする。

また、この発明は、前記第2の物質を熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂とし、該第2の物質を前記空間部に充填した後、熱硬化させたことを特徴として、
5 としている。この構造により、全体が固体の3次元周期構造体を容易に構成可能とする。

また、この発明は、複数の3次元周期構造体を配置するとともに、該配置方向に沿って前記誘電率比を増加方向または減少方向の一方向に傾斜させたことを特徴としている。

10 この構造により、第1・第2物質間の誘電率比の異なる互いに隣接する3次元周期構造体領域それぞれのフォトニックバンドギャップの重ね合わせを有効化して、より広範囲に亘って大きなフォトニックバンドギャップを得る。

また、この発明は、前記周期性の1周期を0.1mm以上30mm以下にしたことを特徴としている。これにより、例えば10～30GHz帯域で大きなフォトニックバンドギャップを有する3次元周期構造体を得る。
15

また、この発明は、形成すべき断面パターンの光照射を光硬化性樹脂に対して層毎に繰り返す光造形法により、3次元の周期性をもった第1の物質による構造体を光造形し、且つ該3次元周期構造体を複数の領域に区分する仕切りを設ける工程と、樹脂中にセラミックス粒子が分散され、該セラミックス粒子の含有比率が異なる複数種の第2の物質を、前記第1の物質による構造体の各領域内の空間部に真空脱泡法によりそれぞれ充填する工程と、前記第2の物質を硬化させる工程と、から3次元周期構造体を得ることを特徴としている。
20

25 このように、第1の物質による構造体を仕切りによって複数の領域に区分して、各領域内にそれぞれセラミックス粒子の含有比率の異なる複数種の第2の物質を充填することによって、第1・第2の物質の誘電率比が異

なった複数の 3 次元周期構造体領域を容易に配置可能とする。

図面の簡単な説明

図 1 は第 1 の実施形態に係る 3 次元周期構造体の 1 単位の構造を示す斜
5 視図である。図 2 は同 3 次元周期構造体の製造工程を示す図である。図 3
は第 2 の物質の含浸充填工程を示す図である。図 4 は光造形装置の構成を
示す図である。図 5 は同光造形装置によるオブジェクトの造形途中の状態
を示す図である。図 6 は誘電率の異なる物質が周期性を持って分布してい
るときの 2 つの定在波を示す図である。図 7 は 3 次元周期構造体の電磁波
10 特性装置の構成を示す図である。図 8 は電磁波特性の測定結果を示す図で
ある。図 9 は第 2 の実施形態に係る 3 次元周期構造体の 1 単位の構成を示
す斜視図である。図 10 は同 3 次元周期構造体の電磁波特性の測定結果を
示す図である。図 11 は第 3 の実施形態に係る 3 次元周期構造体の構成を
示す斜視図である。図 12 はフォトニック結晶型部に対するチタン酸カル
15 シウムの分散量と比誘電率との関係を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

この発明の第 1 の実施形態に係る 3 次元周期構造体およびその製造方
法について各図を参照して順次説明する。

20 図 2 は、3 次元周期構造体の製造過程の状態を示している。(A) は、
フォトニック結晶型 10 の斜視図である。このフォトニック結晶型 10 は
、3 つのフォトニック結晶型ユニット 10 a, 10 b, 10 c を連結した
構造をなす。各フォトニック結晶型ユニットはフォトニック結晶型部 1 か
らなり、空隙部 2 を有している。このフォトニック結晶型部 1 は後に示す
25 ように、第 1 の物質である比誘電率 ϵ_1 のエポキシ系の光硬化性樹脂を
用いて光造形法で作成されている。また、隣接するフォトニック結晶型ユ
ニットの境界部分には仕切り 11 を設けていて、隣接するフォトニック結

晶型ユニットの空隙部 2 同士が連通しない構造にしている。

フォトニック結晶型ユニット 10 a, 10 b, 10 c は、格子定数 12 mm のダイヤモンド結晶格子を縦 2 列、横 2 列、高さ 2 列分それぞれ備え、3 次元周期構造を成す。

- 5 図 2 の (B) は、このフォトニック結晶型ユニット 10 をポリテトラフルオロエチレン製の含浸用型 3 に入れた状態を示している。

- その後、図 3 に示すように、カバー 5 で不要な部分を覆って、所望のフォトニック結晶型ユニットに第 2 の物質を含浸させる。すなわち、そのフォトニック結晶型ユニットの空隙に第 2 の物質を充填する。図 3 に示した例では、フォトニック結晶型 10 a 部分を開口させてカバー 5 を覆い、フォトニック結晶型 10 a 部分に第 2 の物質を含浸させて、図 2 の (C) に示すように、3 次元周期構造体ユニット 100 a を構成する。

- 同様にして、フォトニック結晶型ユニット 10 b, 10 c にも第 2 の物質を含浸させる。但し、フォトニック結晶型ユニット 10 a, 10 b, 10 c 毎に第 2 の物質の比誘電率を異ならせる。

- 上記第 2 の物質としては、ポリエステル樹脂にチタン酸カルシウムを分散させた樹脂を用いる。具体的には、ポリエステル樹脂として株式会社日本触媒製の「エポラック G-110AL」を用い、硬化剤として日本油脂株式会社製の「パーメック N」を用い、両者を混合して比誘電率 3 の硬化性ポリエステル樹脂を用意する。それに対して平均粒径 1.5 μm 、比誘電率 180 のチタン酸カルシウムを、硬化性ポリエステル樹脂に対して所定割合だけ混合し、攪拌し、真空脱泡する。このことによって未硬化状態の第 2 の物質を得る。チタン酸カルシウムの割合として、この例では 30 vol %, 25 vol %, 20 vol % の 3 種類とする。

- 25 上記チタン酸カルシウムの割合の異なった未硬化状態の第 2 の物質を、図 2 に示した含浸用型 3 内に入れたフォトニック結晶型ユニット 10 a, 10 b, 10 c に順に含浸させ、さらに含浸用型ごと全体を真空容器内に

入れ、排気ポンプで排気することによって真空脱泡する。

その後、上記第2の物質を硬化させて、図2の(D)に示すような3次元周期構造体100を得る。(D)において2は、フォトニック結晶型部1の空隙部に充填した第2の物質による充填部を示している。

- 5 図4は、図2の(A)に示したフォトニック結晶型10を製造する装置を示している。ここで、容器25には紫外線で硬化するエポキシ系の光硬化性樹脂28を満たしている。容器25の内部には上下方向に移動するエレベータテーブル26を設けている。このエレベータテーブル26の上部にオブジェクト29を造形する。光硬化性樹脂28の液面付近にはオブジ
10 エクト29の上面に光硬化性樹脂28を所定膜厚だけ塗布するためのスキージ27を設けている。

- また、光学系としては、レーザーダイオード20、レーザーダイオード20からのレーザー光を波長変換して紫外光を発生させる調波発生素子(LBO)21、波長選択素子としての音響光学素子(AOM)22、走査
15 ミラー23、f θ レンズ24を設けている。

このような光造形装置を用いたフォトニック結晶の製造手順は次のとおりである。

- まず、エレベータテーブル26を光硬化性樹脂28の液面から所定深さまで降下させ、スキージ27を液面に沿った方向に移動させることによって、エレベータテーブル26の表面に厚さ約100 μ mの光硬化性樹脂膜
20 を形成する。その状態で、(B)に示すように上記光学系によって波長355nmの紫外線レーザーをスポット径50 μ mのレーザービームLBとして出力110mWでその液面LSに照射する。このとき走査ミラー23を制御しつつレーザーダイオード20を変調することによって、光硬化性樹
25 脂28を硬化させるべき位置にレーザー光を照射し、その他の領域に照射しないように制御する。

上記レーザービームの照射された光硬化性樹脂28の液面は、その重合

反応により直径約 $100\text{ }\mu\text{m}$ の球状硬化相 PR が形成される。この時、レーザービームを速度 90 m/s で走査すると、厚さ約 $150\text{ }\mu\text{m}$ の硬化相が形成される。

このようにレーザービームをラスタースキャンすることによって一層目の断面パターンに相当するオブジェクト 29 を形成する。

次に、エレベーターテーブル 26 を液面に対して約 $200\text{ }\mu\text{m}$ 降下させ、スキージ 27 の移動によって、オブジェクト 29 の表面に厚さ約 $200\text{ }\mu\text{m}$ の光硬化性樹脂膜を形成する。

その後、一層目と同様にしてレーザービームの走査および変調を行うことによって二層目の断面パターンを一層目の上に形成する。この時、上下の層は重合硬化により接合される。三層目以降は二層目と同様である。この処理を繰り返すことによってオブジェクト 29 を造形する。

図 5 は、多数の層を形成した各段階でのオブジェクトの形状を透視斜視図として示している。(A) は、ダイヤモンド構造の結晶軸 $\langle 111 \rangle$ 方向に略 1 ユニット分だけ造形した状態を示している。また (B) は、これを約 4 ユニット分造形した状態を示している。(C) は、更にこれを所定ユニット分繰り返して造形した状態を示している。

図 4 に示した装置で、光硬化性樹脂 28 の液面に対して所定の断面パターンで光硬化性樹脂 28 を硬化させるために、CAD/CAM プロセスを用いる。すなわち、図 5 に示したようなパターンは、3 次元データを扱う CAD で予め設計し、その 3 次元構造のデータを一旦 STL (Standard Triangulation Language) データに変換し、これをスライスソフトウェアによって、所定位置における 2 次元断面データの集合へ変換する。最後に、この 2 次元断面データからレーザービームをラスタースキャンさせる際にレーザーダイオードを変調するためのデータを作成する。このようにして用意したデータを基に、レーザービームの走査とともにレーザーダイオードの変調を行う。

以上の手順で造形した光硬化性樹脂によるオブジェクト 29 を容器 25 から取り出し、未硬化の光硬化性樹脂を洗浄し、乾燥させ、さらに所定サイズに切断することによって、図 2 の (A) に示したフォトニック結晶型ユニット 10 を構成する。

5 図 1 は、1 単位のダイヤモンド結晶格子を示している。ここで 1 はフォトニック結晶型部、S は空隙部である。このダイヤモンド構造は、単位格子に 8 個の格子点を含み、そのうち 4 個ずつがそれぞれ独立の面心立法格子をつくり、一方の格子が他方を立体対角線に沿ってその長さの $1/4$ だけ平行に移動した位置を占めるものである。

10 上述したように、フォトニック結晶型ユニット 10a, 10b, 10c は、それぞれ格子定数 12mm のダイヤモンド結晶格子を縦 2 列、横 2 列、高さ 2 列分それぞれ備えている。隣接するフォトニック結晶型ユニット同士の境界部分の仕切り 11 は、上記光造形法によって、フォトニック結晶型ユニット 10a, 10b, 10c 部分と同時に形成する。または、フ
15 オトニック結晶型ユニット 10a, 10b, 10c を個別に作成し、仕切り 11 となるシートを挟んで接着するようにしてもよい。

図 7 は、3 次元周期構造体 100 の特性を測定する測定装置を示している。この測定装置には、M バンド導波管 30 と、その導波管 30 内に挿入したプローブ 31, 32 を備えている。この導波管 30 の内部に試料とし
20 ての 3 次元周期構造体 100 を挿入する。プローブ 31, 32 にはネットワークアナライザ 33 を接続している。このネットワークアナライザ 33 を用いて電磁波の伝搬特性を測定する。図 7 において 3 次元周期構造体 100 は、3 つの 3 次元周期構造体ユニットの連結方向（長手方向）が導波管 30 の電磁波伝搬方向を向くように配置している。導波管 30 の内側寸
25 法は、横 20 × 縦 10 mm であり、3 次元周期構造体 100 の寸法は導波管 30 の長手方向に 20 mm、導波管 30 の高さ方向に 10 mm である。

図 8 は、上記 3 次元周期構造体の電磁波伝搬特性を示している。(A)

は比較のために、第2の物質に分散させるチタン酸カルシウムの割合を10%、20%、30%のそれぞれについて測定した伝搬特性を示している。
 (B)の(1)は、チタン酸カルシウムを20%分散させた3次元周期構造体ユニットと、チタン酸カルシウムを30%分散させた3次元周期構造体ユニットとを2連結した3次元周期構造体の伝搬特性を示している。また、(2)は、図2の(D)に示したように、チタン酸カルシウムを20%、25%、30%それぞれ分散させた3次元周期構造体ユニットを3連結した3次元周期構造体の伝搬特性を示している。

ここで、図2の(D)に示した各3次元周期構造体ユニット100a、100b、100cのフォトニック結晶型部1(第1の物質)と充填部2(第2の物質)の比誘電率は表1のとおりである。

〔表1〕

3次元周期構造体ユニット		100a	100b	100c	
チタン酸カルシウム(vol%)	10	20	25	30	40
比誘電率	4.2	6.1	8.0	9.8	12.0
誘電率比	1.9	2.8	3.6	4.5	5.5
誘電率比の変化率		└1.28倍┐		└1.25倍┐	└1.22倍┐
		└———1.6倍———┐			

なお、表1において、チタン酸カルシウムを40%分散させた例は、後に引用する。

図8の(A)のように、第1・第2の物質の誘電率比が一定であれば、広範囲のフォトニックバンドギャップは得られない。また、(B)の(1)のように、隣接する3次元周期構造体間での第1・第2の物質の誘電率比の変化率が大きいと、広いバンドギャップが得られない。(2)のように、第1・第2の物質の誘電率比に違いをもたせ、且つ隣接する3次元周期構

造体間での第1・第2の物質の誘電率比を変化させることによってバンドギャップの広帯域化が図れる。特に、本実施形態のように、隣接する3次元周期構造体の誘電率比を3次元周期構造体の配置方向に沿って増加方向または減少方向の一方向に傾斜させることにより、広い周波数帯で十分な減衰量を得ることができる。

次に、第2の実施形態に係る3次元周期構造体について、図9および図10を参照して説明する。

この3次元周期構造体は、第1の実施形態に係る3次元周期構造体と異なり、ダイヤモンド結晶格子部分を空隙としている。図9はその1単位の結晶格子を示している。ここで、1は第1の物質からなるフォトニック結晶型部、Sはその空隙部である。また、この第2の実施形態では、3連結したそれぞれの3次元周期構造体ユニットは、チタン酸カルシウムの分散量が20%、30%、40%の3種としている。その他の構造および製造方法は第1の実施形態の場合と同様である。

図10は、上記3次元周期構造体の電磁波伝搬特性を示している。(A)は比較のために、第2の物質に分散させるチタン酸カルシウムの割合を20%、30%、40%のそれぞれについて測定した伝搬特性を示している。(B)の(1)は、チタン酸カルシウムを20%分散させた3次元周期構造体ユニットと、30%分散させた3次元周期構造体ユニットを2連結した3次元周期構造体の伝搬特性を示している。また、(2)は、チタン酸カルシウムを40%分散させた3次元周期構造体ユニットと、30%分散させた3次元周期構造体ユニットを2連結した3次元周期構造体の伝搬特性を示している。(3)は、チタン酸カルシウムを20%、30%、40%それぞれ分散させた3次元周期構造体ユニットを3連結した3次元周期構造体の伝搬特性を示している。

このように、3次元周期構造体毎に第1・第2の物質の誘電率比に違いをもたせ、且つ隣接する3次元周期構造体間での第1・第2の物質の誘電

率比を変化させることによってバンドギャップの広帯域化が図れる。

次に、第3の実施形態に係る3次元周期構造体について、図11および図12を参照して説明する。

図11は、3連結構造の3次元周期構造体を示している。この例では、
5 フォトニック結晶型部10a, 10b, 10cのそれぞれを構成する第1の物質として、光造形樹脂である比誘電率2.8のエポキシ樹脂に対してチタン酸カルシウムを分散させている。しかも、フォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cのそれぞれについてチタン酸カルシウムの濃度を異ならせている。図中Uは各ユニットの範囲を示している。

10 図12は、上記エポキシ樹脂に対するチタン酸カルシウムの分散量に対する比誘電率の関係を示している。ここで、各フォトニック結晶型ユニット10a, 10b, 10cの空隙部を空気のままとすることによって、各3次元周期構造体の第1・第2の物質の誘電率比に違いをもたせることができる。

15 また、更に各フォトニック結晶型ユニットの空隙部に所定比誘電率の樹脂を含浸させることによって、各3次元周期構造体ユニットにおける第1・第2の物質の誘電率比を一定にしたまま各ユニットの平均誘電率に違いをもたせることができる。

ここで、「平均誘電率」とは、「第1の物質の比誘電率と第2の物質の
20 比誘電率との和を2で割った値」で定義されるものである。すなわち、第1の物質の比誘電率と第2の物質の比誘電率を、隣接する3次元周期構造体同士で異ならせることによって、第1・第2の物質の誘電率比を一定にしつつ、隣接する3次元周期構造体における平均誘電率を異ならせることができる。

25 このような場合、フォトバンドギャップの周波数軸上の位置はユニット全体の平均誘電率に依存し、フォトバンドギャップの鋭さと広がりには各ユニットにおける第1・第2の物質の誘電率比に依存する。そのため、各ユ

ニットの第1・第2の物質の誘電率比を略一定にしたまま平均誘電率の異なった複数の3次元周期構造体ユニットを組み合わせることによって、広範囲な波長で一定の減衰を成すフォトニックバンドギャップを得ることができる。

- 5 第1～第3の実施形態に示したように、各3次元周期構造体ユニットを構成することによって、広い周波数帯で一定の減衰を成すフォトニックバンドギャップが得られる。また、表1に示した誘電率比の変化率を参照し、図10(B)の特性(1)と特性(2)を比較すると明らかなように、隣接する3次元周期構造体同士の誘電率比の変化率が大きくなると2つの減衰
- 10 極 P_a 、 P_b の間隔が広がり過ぎて十分な減衰量が得られなくなる。したがって、十分な減衰量を得るためには、隣接する3次元周期構造体同士の誘電率比の変化率が2.0以下、さらには図10(B)の(1)に示した特性より良好な特性が得られるように1.6以下とすることが望ましい。

- 因みに、バンドギャップの周波数帯を広げるためには、含浸させる第2
- 15 の物質の誘電率は一定にしておき、格子定数を変えることが考えられる。例えば、格子定数が12mm、13mm、14mmの3次元周期構造体を組み合わせる。このような構造では、目的とする周波数帯域にバンドギャップを得るために、3次元周期構造体の各ユニットの大きさが不ぞろいになる、という問題が生じる。また、より高周波帯域でフォトニックバンド
- 20 ギャップを得るために、格子定数の小さな3次元周期構造体を必要とするが、小さな格子定数の部分にはセラミック分散樹脂を含浸させにくく、その製造が困難になるという問題も生じる。

- なお、以上の各実施形態では、フォトニック結晶型ユニット10a、10b、10cを低誘電率樹脂とし、その空隙部に高誘電率樹脂を充填したが、これを逆に、フォトニック結晶型ユニットの空隙部に充填する樹脂を
- 25 フォトニック結晶型ユニットより低誘電率としてもよい。

また、以上の各実施形態では、3次元周期構造体の1周期を12mmと

したが、同様にしてこの周期を0.1 mm以上30 mm以下にすることにより、10～30 GHz帯域で大きなフォトリックバンドギャップを有する3次元周期構造体を得ることができる。

5 産業上の利用可能性

この発明は、光や電磁波の透過を遮断するフィルタとして、光や電磁波を閉じ込める導波路や共振器として、あるいはレーザやアンテナ等として利用可能である。

請 求 の 範 囲

(1) 互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、3次元周期構造体における第1の物質の誘電率と第2の物質の誘電率との誘電率比を該複数の3次元周期構造体で異ならせたことを特徴とする3次元周期構造体。

(2) 互いに誘電率の異なる第1・第2の物質が3次元空間内で周期性をもって分布している複数の3次元周期構造体領域を備え、各3次元周期構造体の平均誘電率に違いをもたせたことを特徴とする3次元周期構造体。

(3) 前記第1の物質は光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂であり、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質は樹脂中にセラミックス粒子が分散した物質であり、該第2の物質を前記空間部に充填したことを特徴とする請求項1または2に記載の3次元周期構造体。

(4) 前記第1の物質はセラミックス粒子が分散した光硬化性樹脂の活性化により硬化した樹脂であり、該樹脂によって空間部が3次元周期をもって分布した結晶型部をなし、前記第2の物質は樹脂であり、該第2の物質を前記空間部に充填したことを特徴とする請求項1または2に記載の3次元周期構造体。

(5) 前記第2の物質は熱硬化性樹脂または熱可塑性樹脂であり、該第2の物質を前記空間部に充填した後、熱硬化させたことを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の3次元周期構造体。

(6) 複数の3次元周期構造体を配置するとともに、該配置方向に沿って前記誘電率比を増加方向または減少方向の一方向に傾斜させた請求項1～5のいずれかに記載の3次元周期構造体。

(7) 前記周期性の1周期を0.1 [mm] 以上30 [mm] 以下にしたことを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の3次元周期構造体。

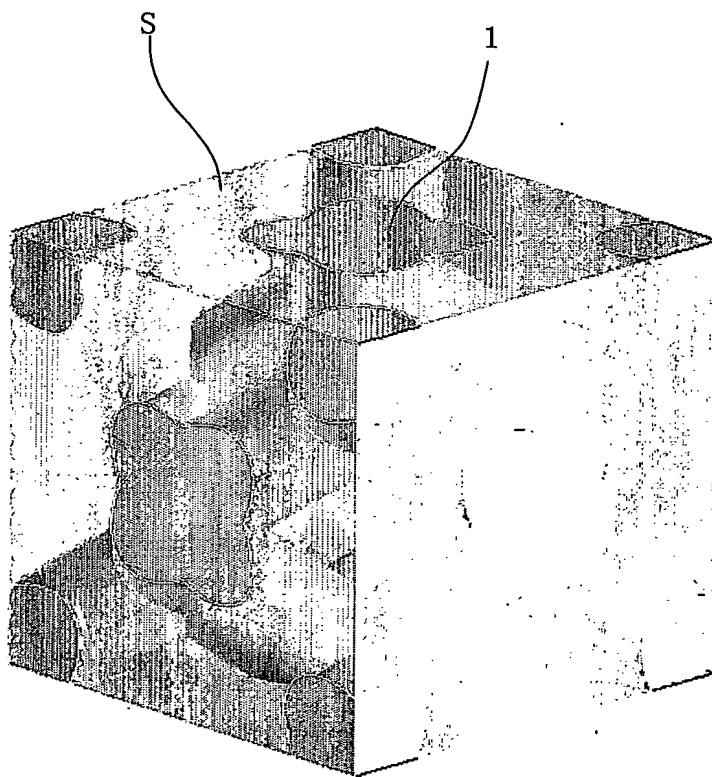
(8) 形成すべき断面パターン of 光照射を光硬化性樹脂に対して層毎に繰り返す光造形法により、3次元の周期性をもった第1の物質による構造体を光造形し、且つ該3次元周期構造体を複数の領域に区分する仕切りを設ける工程と、

- 5 樹脂中にセラミックス粒子が分散され、該セラミックス粒子の含有比率が異なる複数種の第2の物質を、前記第1の物質による構造体の各領域内の空間部に真空脱泡法によりそれぞれ充填する工程と、

前記第2の物質を硬化させる工程と、からなる3次元周期構造体の製造方法。

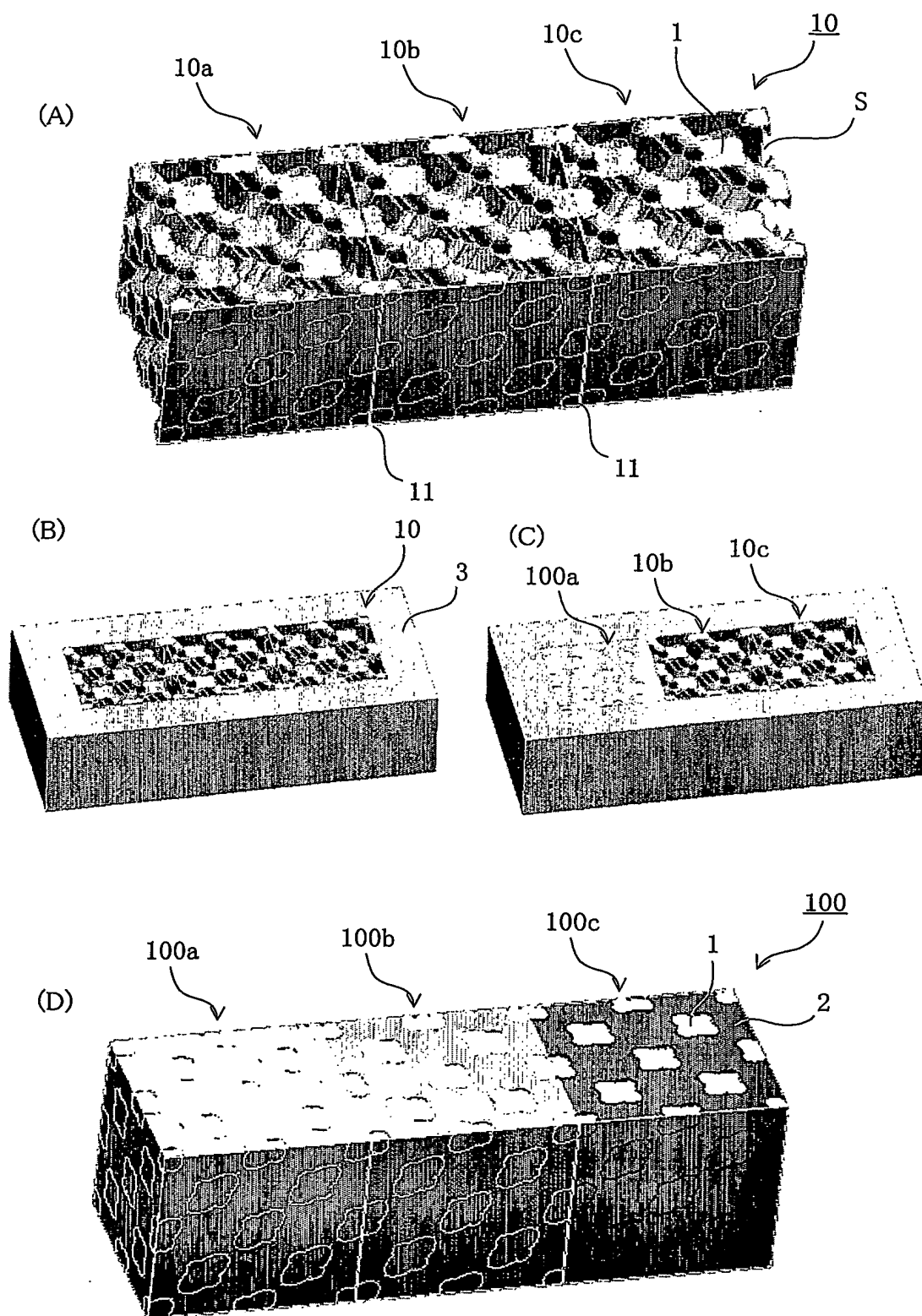
1/12

☒ 1



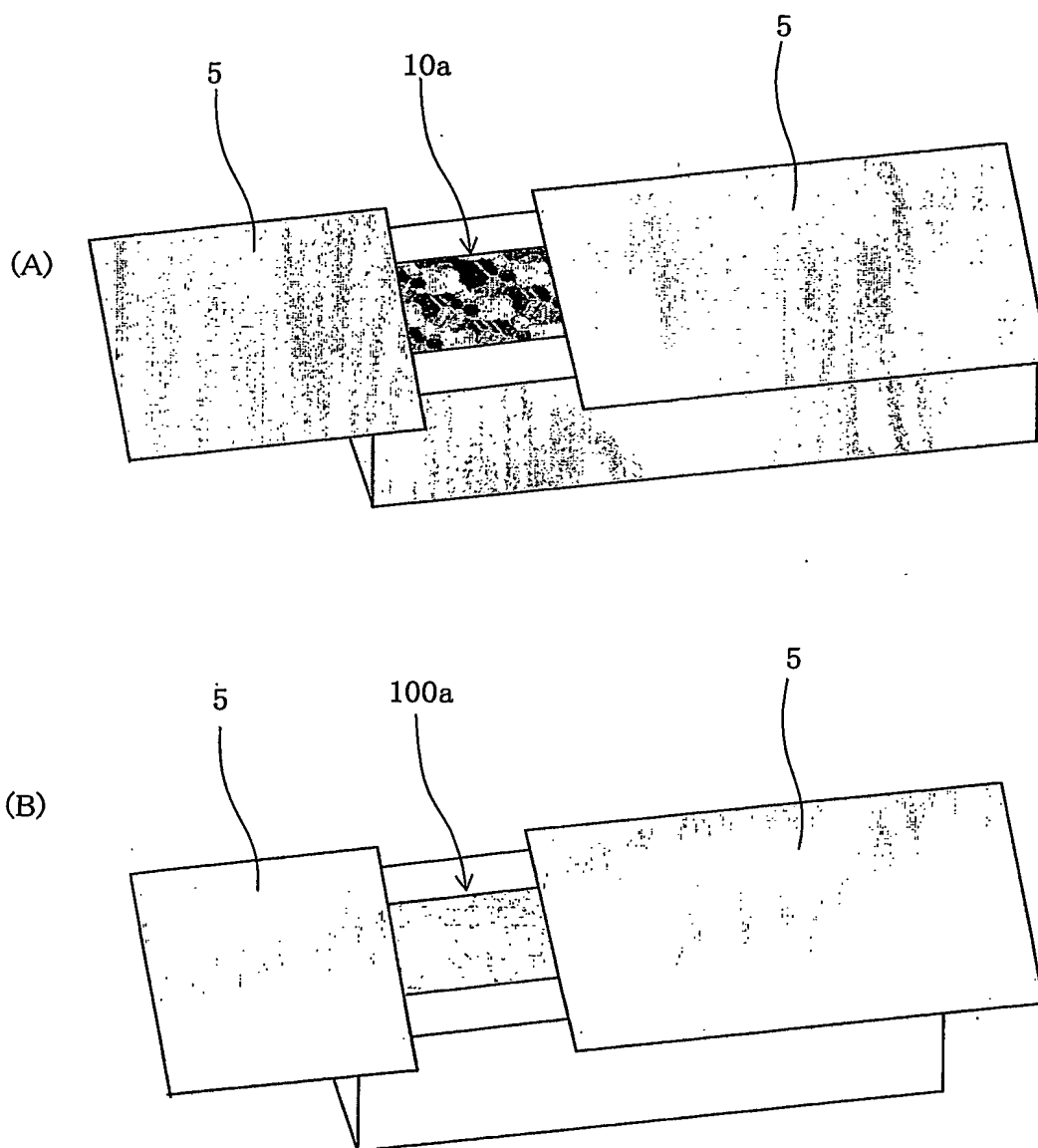
2/12

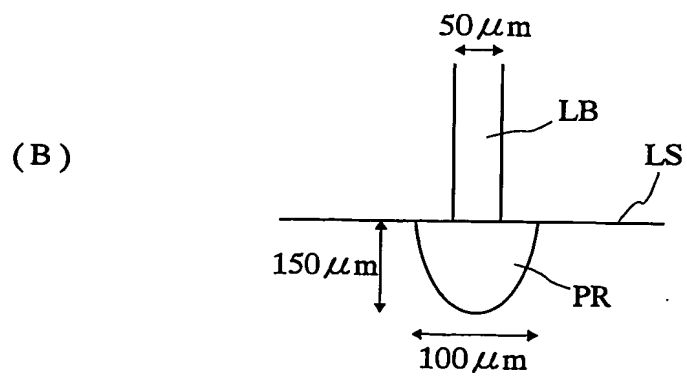
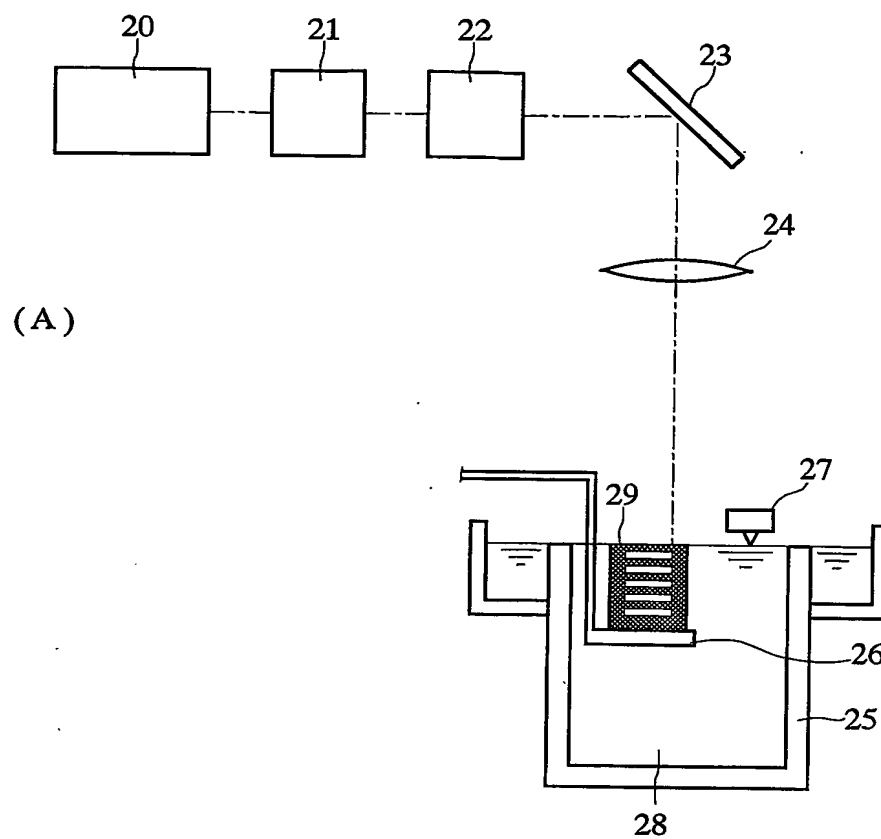
図 2



3/12

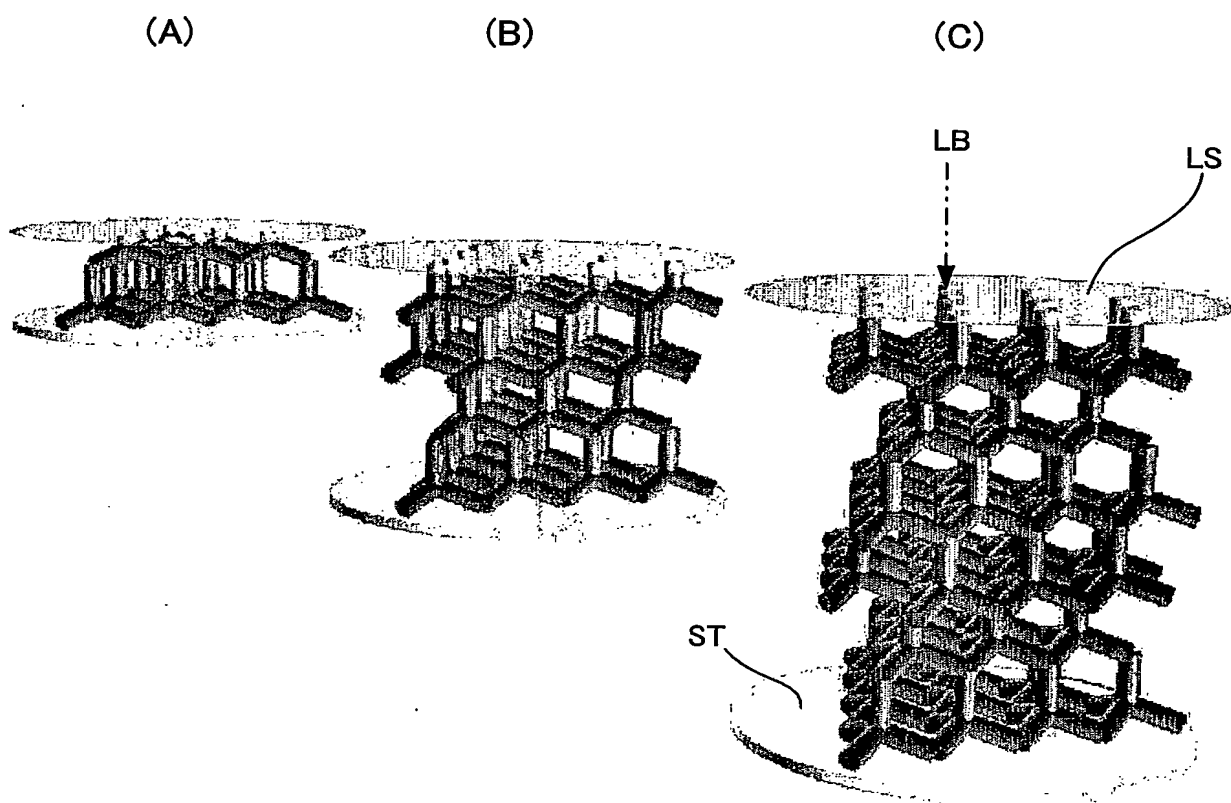
図 3



4/12
図 4

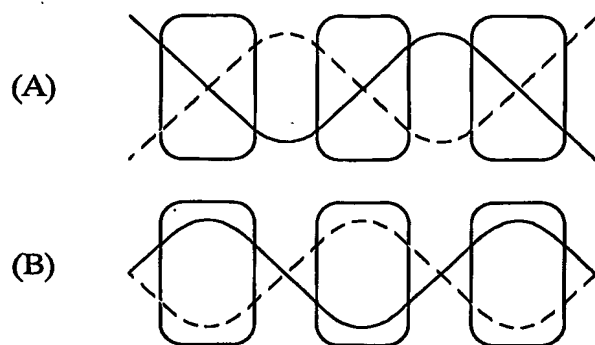
5/12

図 5

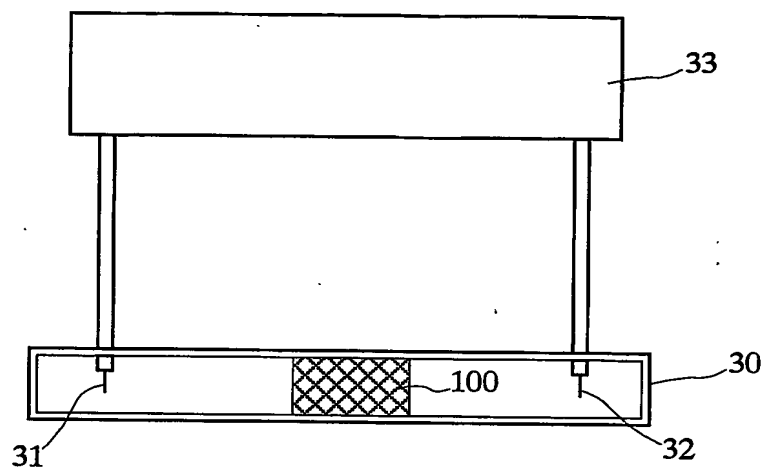


6/12

図 6

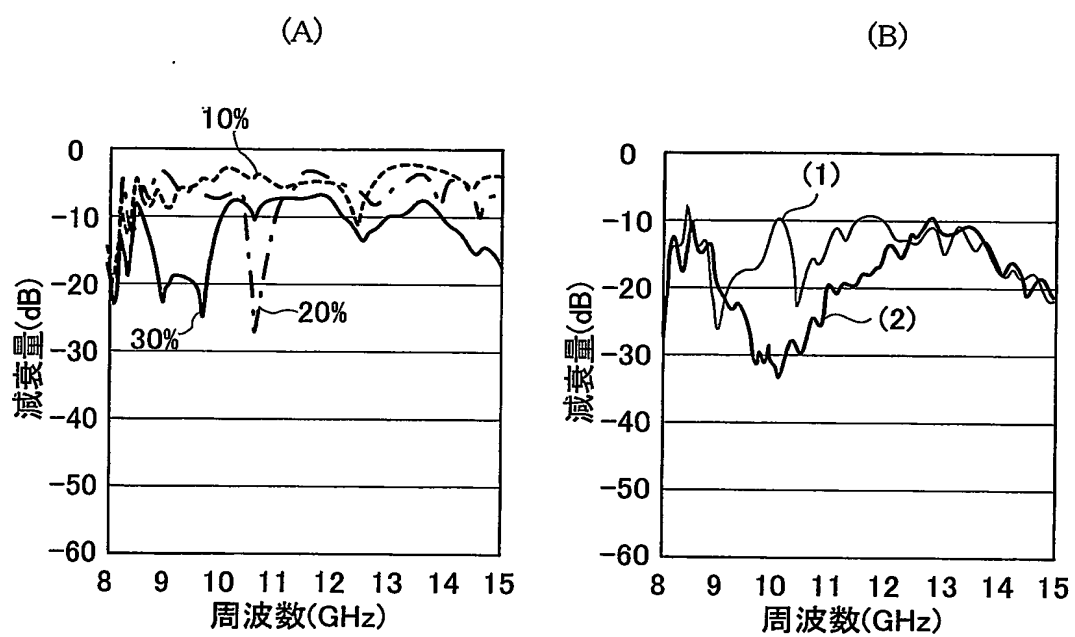


7/12
 図 7



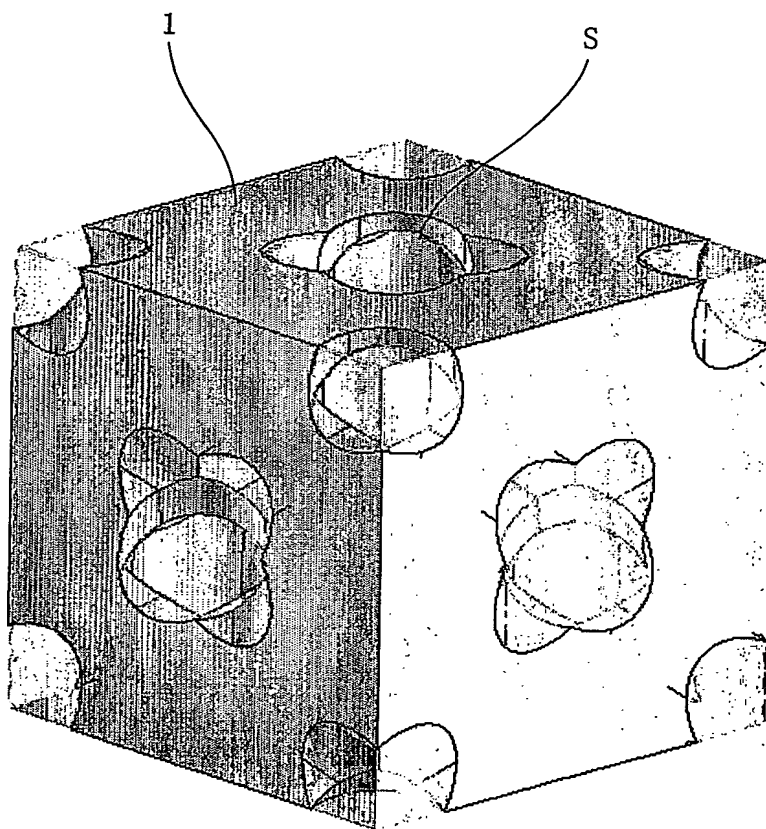
8/12

図 8



9/12

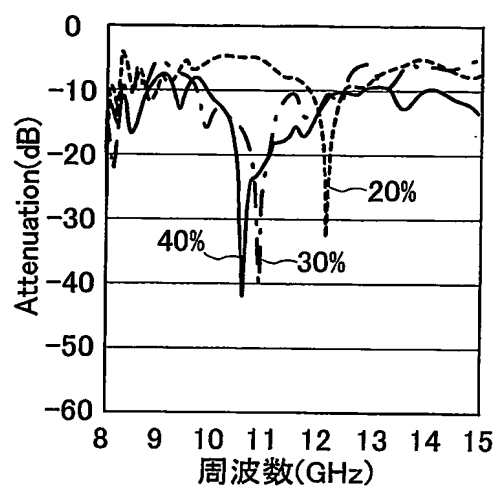
図 9



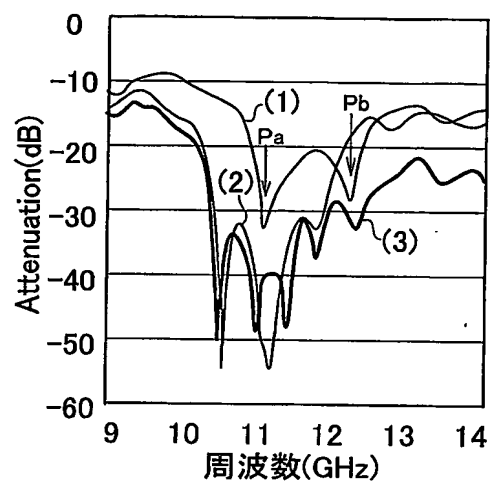
10/12

図 10

(A)

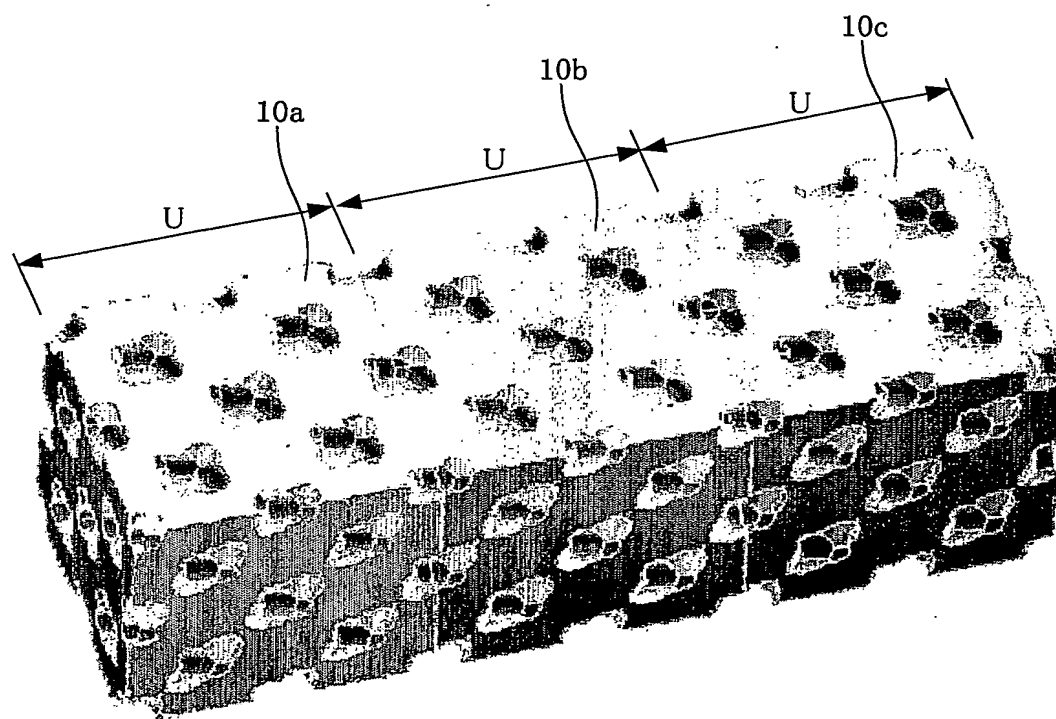


(B)



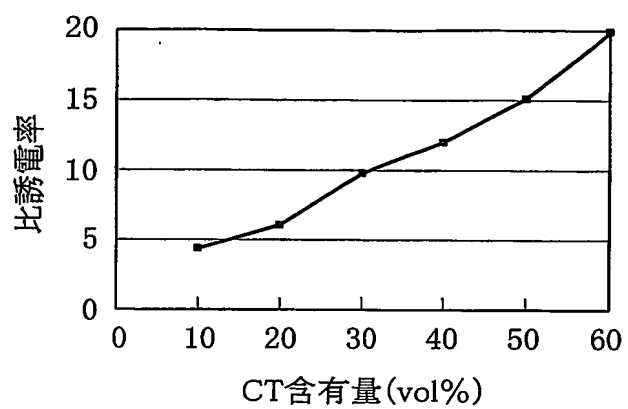
11/12

図 11



12/12

図 12



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005592

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B1/02, G02B6/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B1/02, G02B6/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-71981 A (Fuji Photo Film Co., Ltd.), 12 March, 2002 (12.03.02), Claims; Par. Nos. [0023], [0025]; Fig. 17 & US 2002/0041425 A1 & EP 1184690 A2	1, 2, 6 3-5, 7
Y A	JP 2000-341031 A (Kabushiki Kaisha Ion Kogaku Kenkyusho), 08 December, 2000 (08.12.00), Claims; Par. Nos. [0007], [0012], [0015], [0018] (Family: none)	3-7 8

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 June, 2004 (04.06.04)

Date of mailing of the international search report

22 June, 2004 (22.06.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B1/02, G02B6/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B1/02, G02B6/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2002 - 71981 A (富士写真フイルム株式会社) 2002. 03. 12, 【特許請求の範囲】; 【0023】; 【0025】; 図17	1, 2, 6
Y	& US 2002/0041425 A1 & EP 1184690 A2	3-5, 7
Y	JP 2000 - 341031 A (株式会社イオン工学研究所) 2000. 12. 08, 【特許請求の範囲】; 【0007】; 【0012】; 【0015】; 【0018】 (ファ	3-7
A	ミリーなし)	8

☐ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

04. 06. 2004

国際調査報告の発送日

22. 6. 2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

森内 正明

2 V

3309

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.